

## Erdfehlerschutz bei isoliertem Sternpunkt

### 1. Allgemeines zum Erdschluss

Im isolierten Netz ist der Erdfehler kein Kurzschluss, jedoch ein anormaler Betriebszustand. Er muss gemeldet und möglichst schnell beseitigt werden. Die Art der Erdschlusserfassung hängt von der Konfiguration des Netzes ab. Im Strahlenetz wird die empfindliche Erdschlussrichtungserfassung mit  $\sin \varphi$ -Messung eingesetzt, im vermaschten Netz vorzugsweise das Erdschlusswischerrelais. Bei einem widerstandslosen Erdschluss z.B. in der Phase L3 wird die Spannung  $U_{L3-E}$  zu null, die Spannungen  $U_{L2-E}$  und  $U_{L1-E}$  steigen auf den  $\sqrt{3}$ -fachen Wert an. Es bildet sich eine Verlagerungsspannung  $U_{E-N}$ , die auch Nullspannung ( $U_0$ ) genannt wird. Sie hat den Wert der Leiter-Erdspannung im Normalbetrieb. An der Fehlerstelle fließt ein rein kapazitiver Erdschlussstrom. Dieser kann sehr unruhige Lichtbögen erzeugen. Im Allgemeinen werden isolierte Netze bis zu einem kapazitiven Erdschlussstrom von 50 A betrieben. Zur Meldung des Erdschlusses wird die  $U_{E-N}$ -Spannung ausgewertet.

Die  $U_0$ -Spannung kann aus den Phasenspannungen berechnet oder über die offene Dreieckswicklung (e-n-Wicklung) am Spannungswandler erfasst werden. Diese Wicklung hat üblicherweise ein um den Faktor  $\sqrt{3}$  größeres Übersetzungsverhältnis. Bei Erdschluss beträgt die Messspannung deshalb etwa 100 V. Ein Spannungsrelais zur Erdschlusserkennung wird auf einen Wert von 25 V – 30 V eingestellt, als Zeitverzögerung sind 5 s sinnvoll. Diese Funktionalität ist in den Leitungsschutzgeräten 7SJ5., 7SJ6., 7SA5. und 7SA6. je nach gewählter Ausstattung enthalten. Sind die Geräte mit drei Spannungswandlereingängen ausgerüstet, kann zusätzlich eine phasen-selektive Erdschlussmeldung erfolgen. Als Kriterium für die Erkennung der fehlerbehafteten Phase wird  $U \leq 40$  V eingestellt, als Kriterium für die fehlerfreien Phasen  $U \geq 75$  V.



Bild 1 Erdschlusswischerrelais SIPROTEC 7SN60

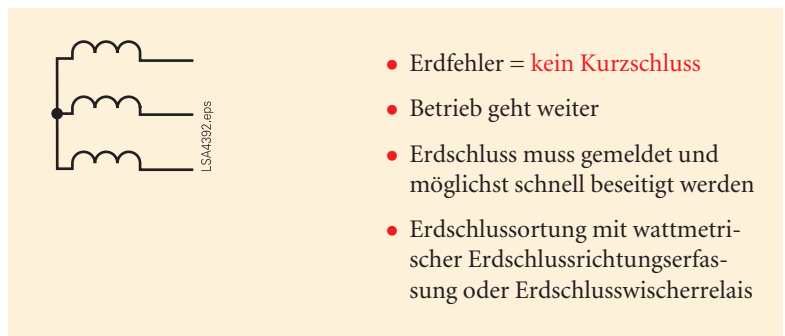


Bild 2 Isoliertes Netz

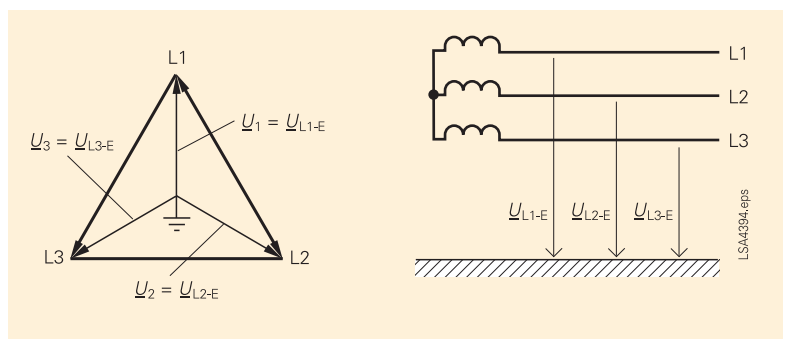


Bild 3 Spannungen im Normalbetrieb

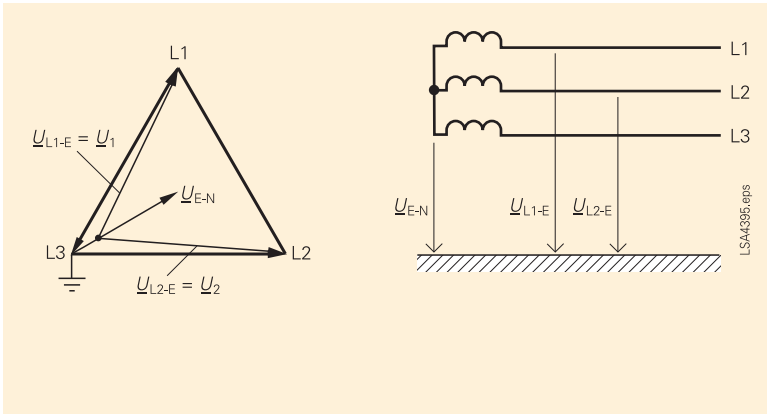


Bild 4 Spannungen beim Erdschluss L3

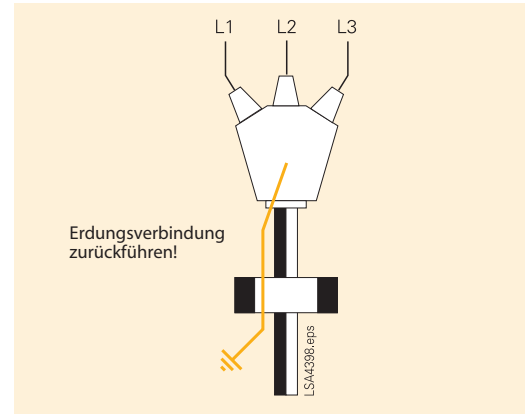


Bild 7 Kabelumbauwandler

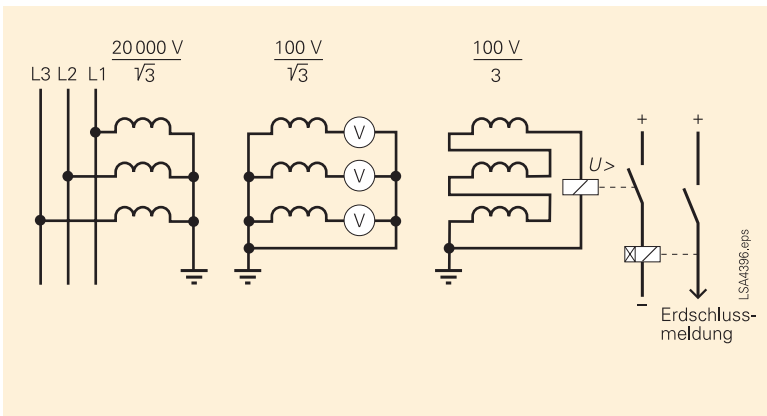


Bild 5 Spannungswandler mit Dreieckswicklung

hältnis der Abzweigwandler (<math><150/1</math> bzw. <math>150/5</math>) geeignet. Bei kleineren Erdströmen bietet sich die zweite Methode mit dem *Kabelumbauwandler* an. Dieser liefert für die empfindliche Erdschlusserfassung bessere Werte.

Wichtig ist dabei, dass auf genaue Montage geachtet wird. Bei Schnittbandkernen müssen die Kernflächen genau aufeinander liegen.

Von entscheidender Bedeutung ist auch, dass die Erdung des Kabelschirms durch den Wandler zurückgeführt wird, damit wirklich die Summe der Phasenströme gemessen wird.

■ 2. Empfindliche Erdschlussrichtungsbestimmung mit  $\sin \varphi$ -Messung

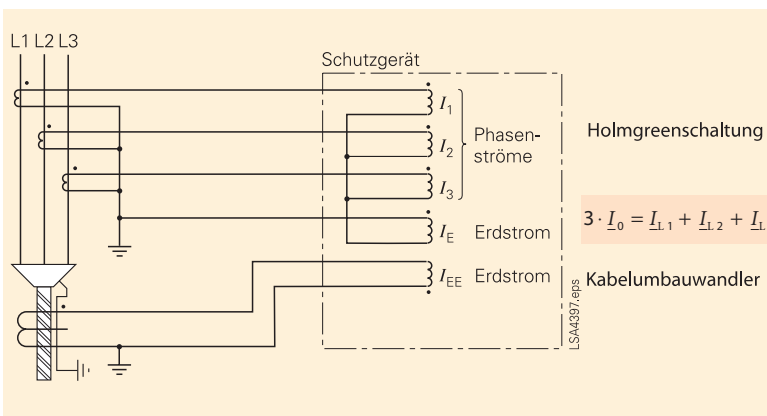


Bild 6 Anschaltung der Ströme

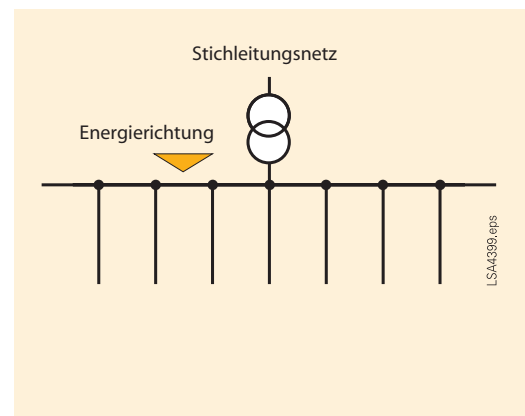


Bild 8 Strahlennetz

Die Erfassung des fließenden Erdstromes kann mit zwei Methoden erfolgen.

Die *Holmgreenschaltung* addiert die drei Phasenströme durch eine entsprechende Verschaltung der Stromwandler und liefert damit den Erdstrom. Da jedoch jeder Wandler einen Fehler hat, ist diese Methode zur Messung des Erdstroms nur in Netzen mit größeren Erdschlussströmen (> 40 A) und nicht zu hohem Übersetzungsver-

Die Erdschlussrichtungsbestimmung ist nur im *Stickleitungsnetz* sinnvoll. Wird sie im vermaschten Netz eingesetzt, sind erst nach Umschaltung auf Stiche sinnvolle Ergebnisse zu erwarten.

Kapazitive Ströme			
Freileitung	20 kV	~	0,05 A/km
	110 kV	~	0,30 A/km
Kabel	10 kV	~	1,5 A/km
	20 kV	~	3,0 A/km
	110 kV	~	20,0 A/km

Mit Hilfe der Tabelle oder mit Werten aus Kabelhandbüchern wird der kapazitive Strom des Netzes abgeschätzt.

**Beispiel:**

*Strom*

30 km 10-kV-Kabel, 1,5 A/km = 45 A  $I_E$

Holgreenschaltung, Übersetzungsverhältnis der Hauptstromwandler: 200/1

Erdstrom am Schutzgerät: 225 mA

Einstellung  $I_E > 150$  mA

Da bei einem Erdschluss nur noch die gesunden Netzteile einen Erdschlussstrom liefern, muss der Ansprechwert stets tiefer als der maximale Erdschlussstrom eingestellt werden. Bei genauer Berechnung muss der Wert des längsten Stiches plus einer Sicherheit vom Maximalwert subtrahiert werden.

*Spannungseinstellungen:*

Bei der Festlegung der Spannungseinstellungen muss beachtet werden, für welche Größe der Ansprechwert bei dem eingesetzten Gerät eingestellt werden muss:

- Verlagerungsspannung; Wert bei Erdschluss  $100 \text{ V} / \sqrt{3}$
- gemessene Spannung an der offenen Dreieckswicklung (e-n-Wicklung); Wert bei Erdschluss 100 V
- Dreifache Nullspannung  $3U_0$ ; Wert bei Erdschluss  $100 \text{ V} \cdot \sqrt{3}$

Bei Anschluss an die e-n-Wicklung ist ein Ansprechwert von  $U_{e-n} > = 25 \text{ V}$  üblich. Bei Einstellung von Ansprechwerten für die (berechnete) Verlagerungsspannung wird dementsprechend ein Wert von  $25 \text{ V} / \sqrt{3}$  empfohlen. Der vorgeschlagene Wert bei Einstellung des Ansprechwertes für  $3U_0$  ist  $25 \text{ V} \cdot \sqrt{3}$ .

Zeitverzögerung der Erdschlussmeldung:  $t = 5 \text{ s}$

Bei phasenselektiver Spannungserfassung:

Betroffene Phase  $U \leq 40 \text{ V}$

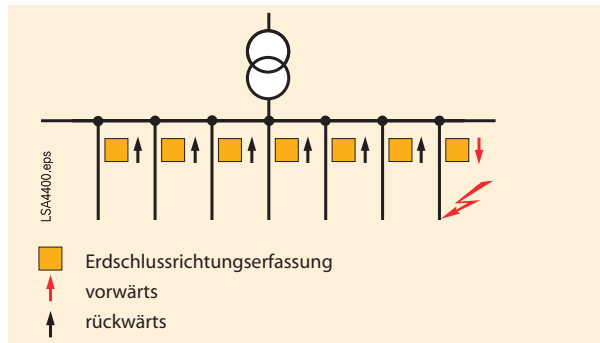
Gesunde Phasen  $U \geq 75 \text{ V}$

*Art der Messung:*

Sin-phi

*Erdschlusserfassung:*

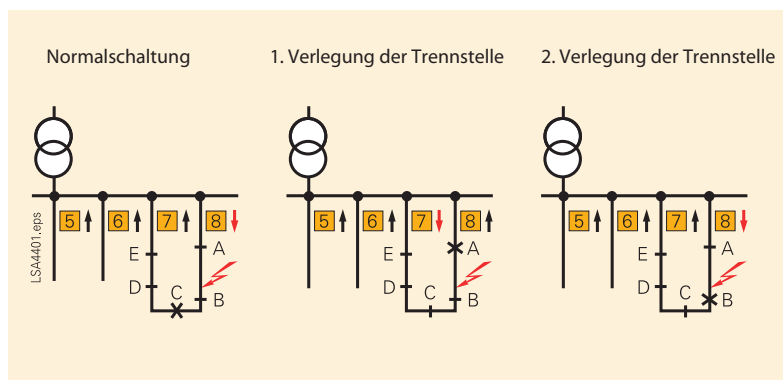
Nur Meldung (üblicherweise erfolgt keine Abschaltung bei Erdschluss)



**Bild 9** Erdschluss im Strahlennetz

Bild 9 zeigt beispielhaft, wie die Anzeige der Erdschlussrichtungsbestimmung in einem konkreten Fall aussehen könnte. Dabei ist zu beachten, dass nicht alle oder im ungünstigsten Fall keine der nicht betroffenen Leitungen rückwärts anzeigt. Wenn der Teilstrom, der zur Erdschlussstelle geliefert wird, kleiner ist als der eingestellte Grenzwert, erfolgt keine Richtungsanzeige. Von allen Geräten wird jedoch der Erdschluss auf Grund der Spannungsverhältnisse erkannt und die allgemeine Erdschlussmeldung abgesetzt. Für die Fernmeldung muss einmal aus dem galvanisch zusammenhängenden Netz die Meldung „Erdschluss“ übertragen werden. Von den einzelnen Abzweigen empfiehlt es sich, nur die Meldung „Erdschluss Vorwärts“ zu übertragen. Wird der Abzweig mit der Meldung „Erdschluss Vorwärts“ abgeschaltet, muss die Erdschlussmeldung verschwinden.

Handelt es sich bei der erdschlussbehafteten Leitung um einen offenen Ring mit mehreren Trennstellen, kann durch Verlegen der Trennstelle das erdschlussbehaftete Teilstück ermittelt werden.



**Bild 10** Erdschlusserfassung im Ringnetz

Beispiel im Bild 10: Normalerweise liegt die Trennstelle bei C. Es ist ein Erdschluss eingetreten und das Gerät 8 hat „vorwärts“ gemeldet.

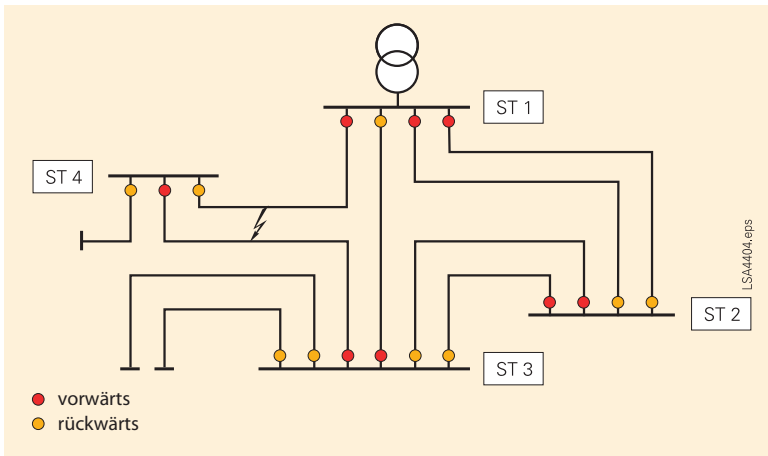


Bild 11 Erdschlusswischeranzeigen

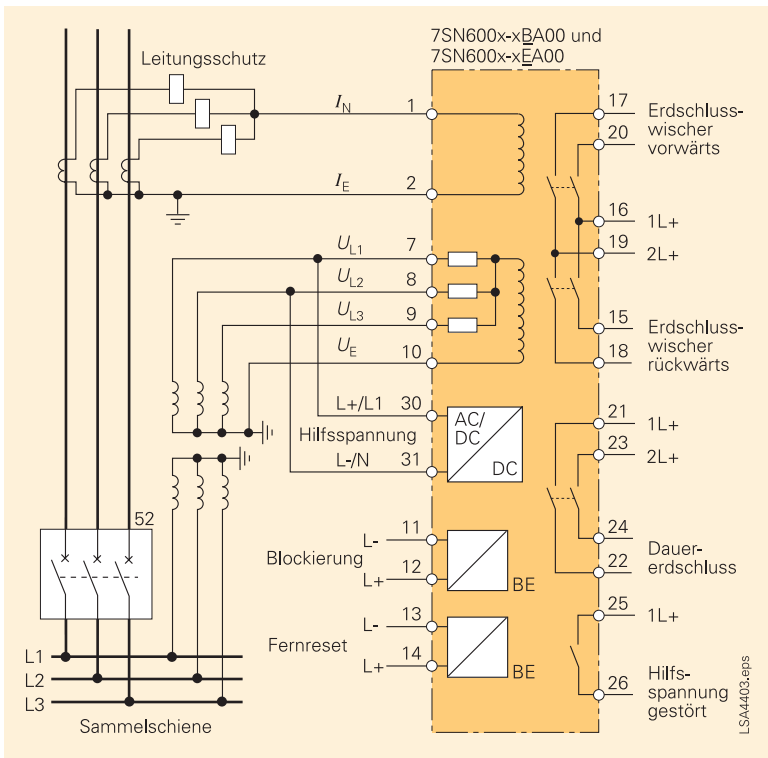


Bild 12 Anschaltung Erdschlusswischerrelais

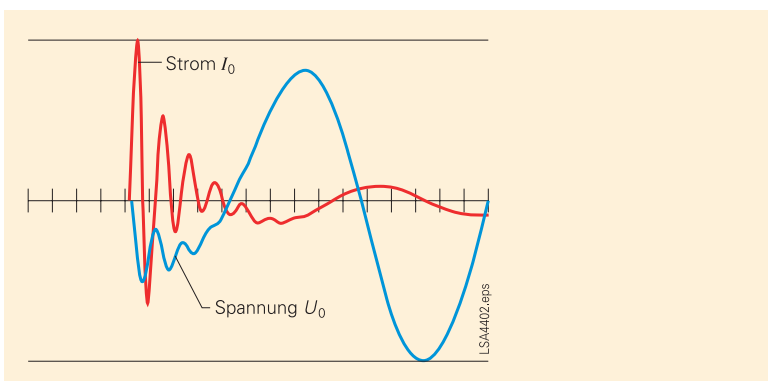


Bild 13 Transiente im Erdschlussfall

Wird nun die Trennstelle von C nach A verlegt, was unterbrechungsfrei für die Versorgung mit Lasttrennen erfolgen kann, zeigt das Gerät 7 „vorwärts“ an. Damit ist der Abschnitt A – C vom Erdschluss betroffen. Wird nun die Trennstelle nach B verlegt, zeigt Gerät 8 wiederum „vorwärts“. Damit ist eindeutig der Abschnitt A – B erdschlussbehaftet.

### 3. Erdschlussrichtungsbestimmung mit dem Erdschlusswischerrelais 7SN60

Handelt es sich um ein vermaschtes Netz, können aus der  $\sin \varphi$ -Messung keine eindeutigen Richtungsanzeigen gewonnen werden. Die Stromrichtung im Erdschlussfall ist nicht eindeutig zu bestimmen. Hier werden mit Erdschlusswischerrelais gute Ortungsergebnisse erzielt. Diese Geräte arbeiten mit dem Umladevorgang, der beim Eintritt des Erdschlusses auftritt. Dabei wird die Kapazität der erdschlussbehafteten Phase gegen Erde entladen und die gesunden Phasen auf den höheren Spannungswert aufgeladen. Bei diesem Umladevorgang tritt ein hoher Strom auf, der einem mehrfachen (3 – 4fach) des kapazitiven Stromes entspricht. Deshalb werden Erdschlusswischerrelais immer an die Holmgreenschaltung angeschlossen. Wichtig ist zu wissen, dass der Umladevorgang nur bei Eintritt des Erdschlusses auftritt, d.h. nur ein einziges Mal. Damit sind Wiederholungsmessungen nach Umschaltungen ohne Aussagekraft und führen nur zur Verwirrung. Um im vermaschten Netz die erdschlussbehaftete Leitung zu identifizieren, ist die Anzeige von beiden Leitungsenden nötig. Beide Geräte müssen in „Vorwärtsrichtung“ anzeigen. Daher ist es sinnvoll, die Meldungen der Erdschlusswischerrelais auf ein Netzabbild zu übertragen. Hier kann dann schnell entschieden werden, wo der Erdschluss liegt.

Im Bild 11 liegt der Fehler auf der mittleren Leitung von ST 4 nach ST 3, da hier beide Geräte „vorwärts“ anzeigen.

### 4. Zusammenfassung

Bei Auftreten eines Erdfehlers im Netz mit isoliertem Sternpunkt kann der Betrieb weitergehen. Der Fehler lässt sich mit den beschriebenen Verfahren lokalisieren. Die Fehlerstelle sollte vom Betreiber zügig vom Netz getrennt werden. Damit wird das Auftreten eines Doppelerdfehlers (der als Kurzschluss eine Versorgungsunterbrechung verursachen würde) vermieden.